

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000196939  
PUBLICATION DATE : 14-07-00

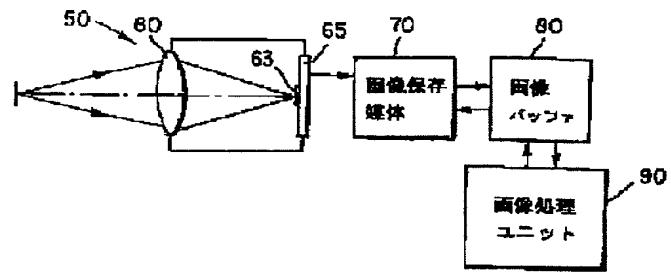
APPLICATION DATE : 22-12-99  
APPLICATION NUMBER : 11365667

APPLICANT : EASTMAN KODAK CO;

INVENTOR : HARRIGAN MICHAEL E;

INT.CL. : H04N 5/228 G06T 3/00

TITLE : DEVICE AND METHOD FOR FORMING  
IMAGE WITHOUT DISTORTION AND  
FACIAL DIRECTION CHROMATIC  
ABERRATION



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a method and device for correcting distortion caused by a lens and correcting a color of a facial direction by providing a rotationally symmetric lens system capable of forming a non-distorted image and introducing a face-direction chromatic aberration and an image processing unit, etc., replacing data expressing a distorted image with the group of data expressing the non-distorted image.

SOLUTION: A rotationally symmetric lens 60 is capable of forming the non-distorted image and introducing facial direction chromatic aberration. A photosensitive image pickup medium 65 is capable of taking the distorted image 63 formed by the lens system 60. An image retaining medium 70 retains data expressing the taken distorted image 63 in the medium 65. An image buffer 80 temporarily holds data expressing the image 63. The image processing unit 90 replaces this data with the group of data expressing the non-distorted image in the buffer 80. This unit 90 has information expressing the characteristic of the distortion aberration of the lens 60 and the chromatic aberration of the facial direction.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| (51) Int.Cl.<br>H 04 N 5/228<br>G 06 T 3/00 | 識別記号<br>F I<br>H 04 N 5/228<br>G 06 F 15/66 | テーマコード (参考)<br>Z<br>3 6 0 |
|---|---|---------------------------|

審査請求 未請求 請求項の数 5 O.L. (全 12 頁)

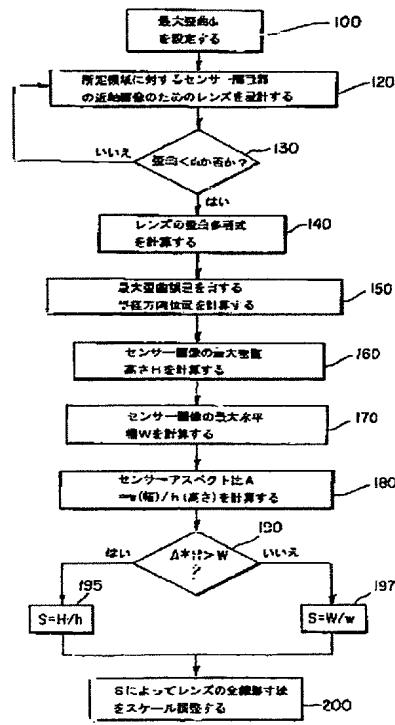
|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| (21)出願番号<br>特願平11-365667            | (71)出願人<br>イーストマン コダック カンパニー<br>アメリカ合衆国、ニューヨーク14650、ロ<br>ヂエスター、ステイト ストリート343  |
| (22)出願日<br>平成11年12月22日 (1999.12.22) | (72)発明者<br>マイケル・イー・ハリガン<br>アメリカ・14580・ニューヨーク・ウェブ<br>スター・チャンピオン・アヴェニュー・<br>174 |
| (31)優先権主張番号<br>220.162              | (74)代理人<br>100064908<br>弁理士 志賀 正武 (外8名)                                       |
| (32)優先日<br>平成10年12月23日 (1998.12.23) |   |
| (33)優先権主張国<br>米国 (U.S.)             |   |

## (54)【発明の名称】 歪曲収差及び面方向色収差のない画像形成装置及びその方法

## (57)【要約】

【課題】 レンズ起因の歪み・面方向色の補正の方法及び装置を提供すること。

【解決手段】 非歪曲画像を形成し、面方向色収差を導入できる回転対称レンズ系60と、歪曲画像を撮れる光惑応性画像捕捉媒体65と、該媒体に撮った歪曲画像を表すデータを保存する画像保存媒体70と、非歪曲画像のデータを保持する画像バッファ80と、歪曲画像のデータを非歪曲画像のデータ群へ置換する画像処理ユニット90と、を備え、該ユニットは、レンズ系の歪曲・面方向色の収差特性の情報を有し、かつ、画素の理想的半径方向位置が与えられた画像の4分割のうちの多くの多くの1分割に対して、歪曲データ画素の実際の半径方向位置を計算し、また、歪曲データを有する画素の半径方向の値に対応するデータを各画素分割における非歪曲画素位置へ移動して、非歪曲画像を構築し、さらに、画像バッファ媒体の非歪曲画像のデータを保存し、そのデータをバッファから画像保存媒体に移動することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非歪曲画像の形成装置であって、非歪曲画像を形成すること、及び面方向色収差を導入することが可能な回転対称レンズ系と、前記レンズ系によって形成された前記歪曲画像を撮ることが可能な光感応性画像捕捉媒体と、前記画像捕捉媒体に撮った前記歪曲画像をあらわすデータを保存する画像保存媒体と、非歪曲画像をあらわすデータを保持する画像バッファと、前記歪曲画像をあらわすデータを非歪曲画像をあらわすデータ群へ置き換える画像処理ユニットと、を備え、前記画像処理ユニットは、前記レンズ系の歪曲収差及び面方向色収差の特性をあらわす情報を有し、しかも該画像処理ユニットは、画素の理想的半径方向位置が与えられた画像の4分割のうちの多くてもその1分割に対して、データが回収される歪曲データ画素の実際の半径方向位置を計算し；また、前記画像処理ユニットは、前記歪曲データを有する画素の半径方向の値に対応するデータを各画素分割における非歪曲画素位置へ移動して、非歪曲画像を構築し；前記画像バッファ媒体における前記非歪曲画像をあらわすデータを保存し；さらに、前記非歪曲画像をあらわす前記データを前記バッファから前記画像保存媒体に移動するように適合されてなる、非歪曲画像の形成装置。

【請求項2】 50°以上の所定全視野角を有し、かつ少なくとも6%の歪曲を有するレンズと、前記全視野角で前記歪曲画像がちょうどセンサーアレイに合致し、かつ前記視野角に対応する近軸画像が前記センサーアレイの側面に触れないように、前記レンズに作られた歪曲画像を受けるセンサーアレイと、を備えた装置。

【請求項3】 50°以上の所定全視野角を有し、かつ少なくとも±6%の歪曲を有するレンズと、前記レンズに作られた歪曲画像を受ける光感応性媒体と、画像処理ユニットと、を備え、前記光感応性媒体は、前記全視野角で前記歪曲画像がちょうど前記光感応性媒体内に合致し、かつ前記視野角に対応する近軸画像が前記光感応性媒体の側面に触れないものであり、

前記画像処理ユニットが、前記歪曲画像をあらわす前記データを処理して該データを非歪曲画像をあらわすように入れ替えるものである装置。

【請求項4】 少なくとも6%歪曲を有する画像を撮るカメラと、前記カメラに操作上接続されているコンピュータを備えたキオスクと、を備え、前記カメラが、歪曲記述係数、レンズ倍率、全視野角、レンズ焦点距離のパラメータのうちの少なくともひとつを有するファイルを含み、前記キオスクが、(i)前記撮られた画像に対応する前記歪曲画像データと(ii)前記ファイルとを受け、前記パラ

メータを使って、予定された理想位置に対応するデータ点の位置を決定し、前記データを前記理想位置に移動し、それによって非歪曲画像を形成する装置。

【請求項5】 非歪曲画像を形成する方法であって、(i)少なくとも6%歪曲を有する画像を生成する段階と、

(ii)前記非歪曲画像の予定された画像位置に対して、前記歪曲画像における対応位置を見つける段階と、(iii)前記歪曲画像の前記の対応する位置でのデータを前記の予定された画像位置にコピーし、前記歪曲画像の3個の分割からの対応データを非歪曲画像における対応位置にコピーする段階であって、前記の対応する画像位置が前記非歪曲画像の中心から等しい半径方向距離によって特徴づけられる段階と、を備えた非歪曲画像を形成する方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レンズに起因した歪曲収差及び面方向色収差の電子補正方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】歪曲(distortion)は、レンズに起因した光学収差である。この収差のために、直線ではなく、歪曲した線が写真の中に現れる。ほとんどのカメラレンズは、2%以下の歪曲になるように設計されている。この歪曲量は、通常の撮影者にとって写真の中でちょうど目立つ程度の量である。面方向色収差は(lateral color aberration)、レンズ性能をしばしば制限するもうひとつ収差である。この収差を有するレンズは、部分的に重なる多数の異なるカラー画像を作りだすので画像に色縞が生じる。この色縞が、画像の品質を低下させる。面方向色収差は、レンズ要素の付加とレンズ材料の適切な選択によって補正可能であるが、これはレンズを複雑にし、コストを上昇させる。

【0003】歪曲収差及び面方向色収差を最小にすることは、しばしば他の収差を補正することよりしばしば重視され、その結果、適切な量の歪曲収差及び面方向色収差を有するレンズを使用するために、他の収差の増加を放置しておくか、あるいは他の収差を制御するために付加的なレンズ要素を使用するかのいずれかを選択することになる。さらに、歪曲収差及び面方向色収差は、視野の増加とともに増加する。歪曲収差及び面方向色収差を小さく保つことが必要であるため、従来使用してきた多くのレンズの視野は100°を越えない。例えば、35mmカメラの典型的な広角のレンズは、約84°の十分な視野を有している。多くのレンズ要素を含む特別製の非常に広角なレンズでさえ、視野は歪曲収差及び面方向色収差のために約100°に制限されている。

【0004】広角なレンズの中には、2%よりはるか

に大きな歪曲を有しているものもある。例えば、魚眼レンズは非常に大きな視野を有しており、そのため、非常に大きな歪曲量を有している。こうして、大広角レンズ（すなわち、100°以上の視野を有するレンズ）で写真を撮る必要がある人は、しばしば非常に大きな歪曲を有する写真に甘んじなければならない。6%あるいはそれ以上の歪曲は、非常に目立つものである。魚眼レンズのよい例は、米国特許第4647161号明細書に開示されている。歪曲を除いて、この魚眼レンズは、150°以上の全視野角にわたってほかしがない非常にすばらしい画像品質を提供する。しかしながら、このレンズは、70%以上の歪曲を有している。そのため、このレンズは、非常に大きく歪曲した画像を形成する。

【0005】さらに、広角レンズにおいては、面方向色収差を補正するのが非常に難しい。画像を形成する光束は、いくつかのレンズ要素の周辺を通過するため、面方向色収差も視野角とともに増加する。従って、このような広角レンズによって形成された画像には、しばしばエッジに色縞が生じている。

【0006】單一レンズレフ型カメラ（SLRカメラとしても知られている）において、撮影レンズと像面との間に位置するフリップ可能なミラー（flipable mirror）を使用していることは周知である。これらのカメラでは、露光中にミラーが邪魔にならない位置に動かせるように背面焦点距離が最小であることが必要なので、このようなカメラ用に設計されたレンズの歪曲を制御するのは難しい。視野角が広角領域（約45°以上）にあるとき、その必要性のため、レンズの背面焦点距離（すなわち、背面レンズから像面への光軸に沿った距離）をレンズの焦点距離より長くする。焦点距離より長い背面焦点距離を実現するためには、レンズは逆焦点型（retro-focus）でなければならない。このようなレンズは、正の倍率の背面レンズ群の後に負の倍率の正面レンズ群を有する。この設計仕様における非対称性によって、コマ収差、面方向色収差及び歪曲収差を補正することがより困難となり、レンズの視野を制限することになる。レンズの全視野角が、例えば100°以上のように非常に広いことが要求されるときには、収差制御が特に困難となりレンズは複雑でかさばり、非常に高価になる。

【0007】大きなズーム範囲と優れた画像品質とを提供する少数のレンズ要素を備えた小型のズームレンズを有することは望ましいことである。しかしながら、多くのズームレンズは、一あるいは複数のズームレンズ位置において歪曲収差及び/又は面方向色収差を有している。もちろん、歪曲収差及び面方向色収差の補正のためにレンズ要素を付加してもよいが、これは、これらのズームレンズを複雑にし、コストを上昇させる。さらに、多くのズームレンズは、ズーム範囲を制限し、かつ歪曲収差及び面方向色収差は個々のズーム位置で制御されなければならない。このため、歪曲収差及び面方向色

収差は、ズームレンズの全ズーム範囲を決定する要因をしばしば制限している。例えば、米国特許第5825556号明細書及び米国特許第5726810号明細書において開示されているような優れたら個のズームレンズ要素は、約30°の広角モードの視野を有し、約2倍のズーム比を提供する。これらのレンズの視野及びズーム範囲は、個々のズーム位置における歪曲を約2%あるいはそれ以下に制限する必要性と面方向色収差を制御する必要性とから制限される。

【0008】米国特許第5461440号明細書は、歪曲及び光の乱れに対する質の低下した像を補正する写真画像補正システムを開示する。歪曲は、歪曲データの位置を知ること、及び複雑な方程式を解いてそのデータに対する理想画素位置を見つけることから補正される。これは画像媒体における個々の画素に対して行われる。画像媒体の個々の画素に対するこの方程式を用いて理想画素位置を計算することは、かなりの時間の節約になる。所定の画像データに対する理想的な画素位置が一旦決まると、理想画素に対する画像データは隣接する4個の画素の領域重み平均によって計算される。この平均の操作は、スムージングフィルターとして作用する。従って、この平均化操作により画像情報の中には失われるものもある。これは好ましくないことである。

【0009】さらには、基礎にされた開示技術は、従来型のカメラレンズ及び写真フィルムの使用を前提にしている。歪曲画像を伴うオリジナルネガは、フィルムスキャナーで走査され、新しい（改良された）画像はプリンターで再生される。非歪曲画像に対する歪曲画像における画素数の相異に対しては調整は行われず、（より小さい視野で使用されないならば）糸巻き歪みの場合に、フィルムのエッジ近傍のデータの中には損失するものもある。

【0010】米国特許第5739924号明細書は、画像の品質を高めることが可能な写真画像印刷装置に関するものである。この特許は、画像データ自体から画像データのラプラス関数を引くことによって、焦点誤差の一因となる移動物体に対して画像を鮮明化する技術を開示している。すなわち、開示された方法は、画像の外形を強調するものである。この特許は歪曲補正あるいは面方向の色補正に関しては触れていない。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、レンズに起因した歪み補正及び面方向の色の補正の方法及び装置を提供することである。本発明の他の目的は、従来技術より単純で効率的なレンズに起因した歪曲収差及び面方向色収差の方法を提供することである。本発明のさらに他の目的は、歪曲画像を検出するセンサーアレイを効率的に使用する技術を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の一実施形態によ

れば、装置は、50°以上の所定全視野角を有し、少なくとも6%の歪曲を有するレンズと、レンズに作られた歪曲画像を受けるセンサーアレイと、を備えている。前記全視野角では、歪曲画像がちょうどセンサーアレイにフィットし、かつこの視野に対応する近軸画像はセンサーアレイの側面には触れない。

【0013】本発明の他の実施形態による装置は、50°以上の所定全視野角を有するレンズと、少なくとも6%の歪曲を有するレンズと、レンズに作られた歪曲画像を検出するセンサーアレイであって、前記全視野レンズにおいて歪曲画像をちょうどセンサーアレイにフィットし、かつ視野に対応する近軸画像はセンサーアレイの側面には触れないようにしたものと、歪曲画像をあらわすデータを処理して、そのデータを非歪曲画像を表すように入れ替える画像処理ユニットと、を備えている。

【0014】本発明の他の実施形態による非歪曲画像を形成する方法は、(i) 少なくとも6%の歪曲を有する画像を形成する段階と；(ii) 非歪曲画像の所定の画像位置に対応する位置を歪曲画像で見つける段階と；(iii) 歪曲画像の対応する位置のデータを予定画像位置にコピーし、対応するデータを歪曲画像の4分割のうちの他の3つの分割から非歪曲画像の対応する位置にコピーする段階と、を備えている。対応する画像位置は、非歪曲画像の中心から等しい半径方向距離によって特徴づけられる。

【0015】本発明の他の実施形態による非歪曲画像を形成する装置は、(i) 非歪曲画像を形成することが可能な回転対称なレンズ系と；(ii) 前記レンズ系によって形成された歪曲画像を撮ることが可能な光感応性画像捕捉媒体と；(iii) 該画像捕捉媒体で撮った歪曲画像をあらわすデータを保存する画像保存媒体と；(iv) 非歪曲画像をあらわすデータを保持する画像バッファと；(v) 歪曲画像をあらわすデータを入れ替え、非歪曲画像をあらわすデータ群を作成する画像処理ユニットと、を備えている。この画像処理ユニットは、レンズ系の歪曲収差及び面方向色収差の特性をあらわす情報を有している。

【0016】本発明の利点のひとつは、レンズの歪曲収差及び面方向色収差を補正する必要性を低減することである。レンズ設計において歪曲を補正する必要がないならば、非常に広角のレンズ設計が可能となる。レンズが大きな歪曲収差量及び面方向色収差量を有することが許されるならば、他の収差もより抑制可能となり、レンズは、レンズ要素の数を少なくすること、非常に大きな視野角を有すること、及び価格を抑えることが可能となる。そのため、レンズは、非常に大きな視野を有し、かつデジタル的に除去可能な大きな歪曲収差量及び面方向色収差量を有するように設計することが可能となる。歪曲収差及び面方向色収差を除去して優れた性能を有するズームレンズは、より大きなズーム範囲も達成し、かつ

広角モードでより広い視野角も有するだろう。同等なズームレンズは歪曲収差及び面方向色収差の補正も可能である。デジタルカメラを使用するならば、ビューファインダーで視界は正確に像に取り込まれ、より高い分解能となる。

【0017】図1は、歪曲画像をとり、補正する装置を示す概略図である。図2は、歪曲を伴うレンズを設計する際の各段階の流れ図である。このレンズは、全視野角でちょうど所定の画像領域内におさまる歪曲画像を形成するように設計されている。図3は、完全レンズを、センサーアレイをみたす所定視野(FOV)内にある主光軸とともに示した図である。図4は、センサーアレイのwとhの寸法を示す図である。図5は、画像領域の4分割における画素の番号付けを示す図である。図6及び図7は、歪曲収差及び面方向色収差に対して画像を補正する際の各段階の流れ図である。図8は、25%歪曲を有するレンズで形成した、矩形画像フォーマット及びその画像のエッジを示す図である。図9は、縮小歪曲画像及び図8で示した4×6矩形の近軸像を示す図であり、共に同じ倍率で描いた図である。図10は、25%歪曲を有するレンズで形成した、矩形画像フォーマット及びその画像のエッジを示す図である。図11は、縮小歪曲画像及び図10で示した4×6矩形の近軸像を示す同じ倍率で描いた図である。図12は、非歪曲画像データを伴う画素を示す図である。この画素は、画像中心からの半径距離rと角度値qによって規定される。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明のこの実施形態は、デジタルカメラで撮影したり、あるいはフィルム上にとった像をデジタル化することにより得られたデジタル(化)画像に関わるものである。このような画像は、歪曲収差及び/又は面方向色収差を有するレンズによって形成されるが、それらの収差は以下のように除去されている。

【0019】図1に示した非歪曲画像の形成装置は、(i) 非歪曲画像63を形成しつつ面方向色収差を導入することが可能な回転対称なレンズ60と；(ii) 前記レンズ系60によって形成された歪曲画像63を撮ることが可能な光感応性画像捕捉媒体65と；(iii) 該画像捕捉媒体65に撮った歪曲画像63をあらわすデータを保存する画像保存媒体70と；(iv) 歪曲画像63をあらわすデータを少なくとも一時保持する画像バッファ80と；(v) このデータを前記画像バッファにおける非歪曲画像をあらわすデータ群に入れ替える画像処理ユニット90と、を備えている。この画像処理ユニット90は、レンズ60の歪曲収差及び面方向色収差の特性をあらわす情報を有している。画像処理ユニット90は、画像画素の理想の半径方向位置が与えられた画像の4分割のうちの多くてもその1分割に対して、データが取り出される歪曲画像の対応する画素の実際の半径方向位置を計算する。次に、画像処理ユニット90は、歪曲画像

63からの画素の半径方向の値に対応するバッファデータを画像の各分割における非歪曲画素位置に移動し、それによって補正画像に対応するデータを構築する。補正画像に対応するデータは、始めは画像バッファ80に蓄積され、次に画像バッファ80から画像保存媒体70に移動される。これは、必要なメモリ量を最小にするために行われるものである。この装置は、画像保存媒体70における歪曲画像データを画像バッファ80からの補正画像データで上書きするのが好ましい。

【0020】画像捕捉媒体と結合して、歪曲画像63が画像捕捉媒体65（例えば、センサーアレイ）を最適にファイルすることを可能にする適当なレンズ60を設計する方法、及び、形成された画像から歪曲収差及び面方向色収差を除去する方法の詳細を以下で述べる。特に、デジタルカメラへの応用においては、大きな歪曲収差及び面方向色収差を有し、かつ選択されたセンサーアレイ用に最適化されたレンズを設計する機会がある。この方法の概要を図2に示した。一般に、歪曲画像はセンサーにちょうどフィットするわけではないので、レンズの大きな歪曲のため非最適化センサーアレイを使用することになる。図2の方法によって、レンズによって形成された歪曲画像がちょうど予定画像領域内におさまるようにすることができる。この方法の最初の数段階（100から300まで）は、センサーアレイを最も効率的に活用するように、レンズが過度の歪曲を有しように設計する。さらに、段階120は、最初のレンズが近軸視野（FOV）内の光線がセンサーにおさまるように設計することができる。これについては図3に示す。

【0021】図2の方法の段階140で、レンズ60の歪曲多項式を計算する。この歪曲多項式は、レンズ60に

$$R(\lambda) = r(\lambda) + A_1 r^3(\lambda) + B_1 r^5(\lambda) + C_1 r^7(\lambda) + \dots \quad (1)$$

レンズ設計が終了すると、光線追跡を実施し、いろいろな角度に対して実際の主光線及び近軸の主光線の位置を決める。次に、適切な係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda, \dots$ を見つけることによって、実際の主光線位置と近軸の主光線の位置との関係を決定する。これは、図2の段階140に一致する。これは、多くの視野点への最小自乗フィットのようないろいろな周知の方法で行ってよい。多くの場合、十分な精度で実際の主光線を記述する際には、数項だけで足りる。これらの係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda$ と理想画素位置 $r(\lambda)$ とを与えると、ただちに対応する画素の位置 $R(\lambda)$ を容易に計算することができる。レンズに起因した面方向色収差が無視できるならば、係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda$ の計算は対象の位置波長分だけに対して実施すればよい。

【0024】周知のレンズ設計とは異なり、実際のレンズが供給されると、レンズの歪曲特性はレンズに生成された画像の測定によって決定することができ、係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda, \dots$ はこれらから決定することができる。

【0025】図2の方法の段階150から段階200は、使用されないセンサー画素の数を最小化するように画像セン

よって導入される歪曲を特徴づけるものである。歪曲多項式は、理想画像点を歪曲画像63上の位置に関連づける。歪曲多項式は、歪曲係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda, \dots, \text{etc}$ によって特徴づけられる。異なる視野角での多くの実際の光線及び近軸主光線を、いろいろな視野に対応する適当な歪曲係数を決定するために追跡する。（これは、例えばオプティカルリサーチアソシエイツ（パナデナ、カリフォルニア州）から販売されているCODEVのような購入可能なレンズ設計・分析プログラムを使用して行うことができる。）主光線は、斜角でレンズを通過する上限光線と下限光線との間の中間に位置する斜光線である。近軸光線位置は、完全（すなわち、歪曲なし）レンズによって形成された画像における主光線の位置を表すものである。画像表面における実際の主光線位置は、収差を有するレンズ系によって形成された画像での主光線の位置である。

【0022】レンズ表面特性は、光軸に関して回転対称であることが仮定されている。画像での実際の主光線を、光線のある波長入での任意の視野角に対する画像中心からの径方向距離として定義し、それに対応する画像中心からの近軸主光線径方向距離を $r(\lambda)$ として定義する（図4を参照せよ。）。本発明のこの実施形態によれば、歪曲画像位置 $R(\lambda)$ に対応する画像データは、非歪曲画像位置 $r(\lambda)$ に移動され、最終の画像から歪曲の影響を除去する。

【0023】回転対称レンズに対する実際の主光線 $R(\lambda)$ の位置は、以下のように奇数乗の多項式関数として記述される：

【数1】

サーに応じて設計したレンズを最適に作る方法を決めるために行う。センサーの歪曲画像の最大垂直高さ $H$ とその最大水平幅 $W$ （図4参照）との両方を決定するため、センサー周縁部（あるいは予め決められた画像領域）に対応する多くの実際の主光線を追跡しなければならない。レンズが完全ならば、実際の主光線及び近軸主光線の位置は同じである。しかしながら、ほとんどのレンズは完全ではなく、これらの位置は異なっている。センサーのアスペクト比 $A$ は、センサーアレイの幅 $w$ をセンサーアレイの高さ $h$ で割った値として定義されている。このアスペクト比 $A$ は、設計されたレンズをスケール調整するかどうかあるいはどのくらいスケール調整するかを決めるのに用いられる。完全レンズでは、 $W=w$ かつ $H=h$ である。しかしながら、レンズが歪曲を有すれば、 $W \neq w$ かつ $H \neq h$ である。 $A \cdot H$ が $W$ より大きければ、画像はセンサーアレイより大きく、損失するデータもある。 $A \cdot H$ が $W$ より小さければ、画像はセンサーアレイより小さく、センサービクセルの全てが使われるわけではない。さらに、段階180及び段階190において、レ

ンズ設計にとっての倍率を決める。段階200では、レンズ設計はこの倍率で行われる。すなわち、方法の段階180においては、この倍率をレンズデータの全直線的寸法（すなわち、半径、レンズ部材の厚さ、間隔、etc）に適用する。これは、同じ倍率でレンズの焦点距離をも変える。A・HがWより大きければ、設計されたレンズの全直線的寸法は、センサーの高さにフィットさせ、かつ視野角における全データがセンサーの幅におさまるように調整される。A・HがWより小さければ、設計されたレンズの全直線的寸法は、センサーの幅にフィットさせ、かつそのデータがセンサーの高さ内におさまるように調整される。この最後のレンズ設計では、(i)いかなる画像もセンサー外になることなく、センサーに最適にフィットする設計物体視野に対する画像を生成し；(ii)センサーのエッジにちょうど接する矩形の画像境界の大部分を有する。すなわち、最後のレンズ設計では、全視野角において予め決められた画像領域内にちょうどおさまる歪曲画像を生成する。倍率がどのように決められ

$$R_s(\lambda) = s_\lambda r_s + A_\lambda(s_\lambda r_s)^3 + B_\lambda(s_\lambda r_s)^5 + \dots \quad (2)$$

ここで、 $R_s$ は、歪曲を有する実際のレンズによって画像データ（非歪曲画像位置 $r_s$ に対応する）を配列する実際の位置である。画像領域の使用を最適化するために、実際のレンズは、調整されたレンズ設計に従って作られるのが好ましい。本発明の一態様によれば、歪曲画像位置 $R_s$ に対応する画像データは、非歪曲画像位置 $r_s$ へ移動する。一旦係数 $A_\lambda$ 、 $B_\lambda$ 、etcがわかれば、非歪曲画像位置における径方向位置は、近軸主光線から決定し、その非歪曲画像位置に対する実際の歪曲画像位置は、式(2)から計算し、データは、その非歪曲画像位置から正しい位置に対応する位置に移動することができる。これについては、後で詳細に議論する。径方向対称性のために画像の4分割からのデータの各々が同じ径方向距離を有するので、1つの径方向位置に対して一旦数学的処理を実施すれば、それら画像の4分割からのデータをその正しい位置に移動することができる。

【0028】図5は、画像の4分割の各々の同定の方法及び核分割における画素の番号付けの方法を示している。分割1は、それぞれ画素番号 $n_x$ 、 $n_y$ （両者正である）を有するX及びYで同定される画素を含む。分割2は、Xで同定される負の画素番号の画素と、Yで同定される正の画素番号の画素とを有する。分割3は、X及びYで同定されるいずれも負の画素番号の画素を有する。分割4は、X方向に正の画素番号 $n_x$ でY方向に負の画素番号 $n_y$ の画素を有する。これは、カーテシアン座標の標準的な数学的定義に従っている。

【0029】図6及び図7は、本発明の好適な実施形態により補正画像を形成するために行う段階を説明する流れ図を示している。この方法によれば、補正画像は、歪曲画像に対応するデータから補正画像の個々の画素に対

るかを説明する2つの例を後で明細書中で示す。一方は正の3次の歪曲を有するレンズ設計についてであり、他方は負の3次の歪曲を有するレンズ設計についてである。

【0026】上記で決めた倍率を $s$ と、光感応性媒体における歪曲実数径方向画像位置を $R_s$ と、（近軸主光線の位置で決まる）所望の非歪曲径方向画像位置を $r_s$ と定義しよう。次に、調整画像（すなわち、調整レンズ設計によって作られた画像）はオリジナルの近軸画像半径座標 $r(\lambda)$ （但し、 $r(\lambda) = s_\lambda r_s$ ）に関係している。倍率 $s_\lambda$ は波長入に依存する。データの損失を最小にするためにレンズの波長倍率は $s = s_\lambda$ になるように選ぶべきである。6%以上の歪曲を有するレンズに対しては、倍率は $d \geq 1.5$ 、あるいは $d \leq 0.95$ であることが好ましい。

【0027】上記の内容を式(1)に代入すると、結果は歪曲画像点位置をその歪曲径方向位置に関係づける：

【数2】

するデータを得ることによって形成できる。

【0030】例えば（図6の段階220参照）、値が1であり、かつ形成される画像の第1の分割に位置する $n_x$ と $n_y$ とによって特徴づけられた画素が存在する原点から開始してもよい。この流れ図及びこれ以後においては、プライム（'）が付いていない数は、構築される補正画像を示す。プライムが付いている数は、歪曲画像が位置する画素の位置を示す。段階230において、この画素の中心間での径方向距離 $r_s$ が計算される：

【数3】

$$r_s = \sqrt{(n_x h_x)^2 + (n_y h_y)^2} \quad (3)$$

この式においては、 $h_x$ 及び $h_y$ は、それぞれ理想画像（すなわち、非歪曲画像）のX方向及びY方向における画素ピッチである。非歪曲画像データを有する画素は、座標 $(n_x h_x, n_y h_y)$ を有する。ここで、 $n_x$ は原点からX方向への画素数であり、かつ、 $n_y$ は原点からY方向への画素数である。段階240において、式(2)に関連して説明した予定多項式及び倍率から、対応する画像位置の径方向距離 $R_s$ を見つける。この段階では、2つの径方向位置の比 $R_s/r_s$ を少なくとも4回使うので、この値を保存しておくことは好都合である。この値は、この画素及び、同じ $r_s$ 値を有する少なくとも3個の他の画素に対して用いられる。

【0031】段階250においては、歪曲画像データを伴う画素を同定する数 $n_x'$ 及び $n_y'$ を計算する。収差を有する画像のX及びYにおける画素数は、

【数4】

$$n_x' = \pm n_x \frac{R_s}{r_s} \quad (4)$$

【数5】

$$n_y' = \frac{R_\lambda}{r} n_y \quad (5)$$

【0032】非収差データ画素に対応する最近接収差画素を位置づけるため、数 $n_x'$ 及び $n_y'$ は整数でなければならない。そのため、これらの数はその最近接の整数値に四捨五入しなければならない。

【0033】段階260においては、この画素からのデータを補正画像を含む画像バッファにコピーする。すなわち、(画像領域からの)画素 $n_x', n_y'$ からのデータを、 $n_x, n_y$ で同定された(バッファの)非歪曲画素位置に移動する。次の分割の次に対応する画素は、段階270において、上記の分割の定義に従ったXあるいはY座標の適当な符号を単に変えることによってセットする。 $-n_x, n_y; -n_x, -n_y; n_x, -n_y$ で同定した画素上のデータは全て、同じ径方向位置 $rs$ 及び対応する歪曲位置 $Rs$ を有している。回転対称であれば、4個の位置、すなわち各分割における位置 $(n_x h_x, n_y h_y), (-n_x h_x, n_y h_y), (-n_x h_x, -n_y h_y), (n_x h_x, -n_y h_y)$ を得るために、 $R$ 入及び $r$ を一度だけ計算する必要がある。従って、数学的処理は、全画素数の4分の1に対してだけ行えばよい。プライムを付けた座標に蓄えられた画像データを、補正画像位置あるいは所望画像位置に移動する。一般に、これらの4個の各位置での画像データは異なるが、各画素は同じ非歪曲画像径方向位置 $rs$ 及び歪曲画像径方向位置 $Rs$ を有することに注目すべきである。さらに、画素が矩形パターン(ピッチ式)をもって配置しているならば、対称性は8回対称であり、また、どの分割についてもその1/2に対して計算を実行することによって、全画像データは画像バッファにおける補正位置にシフトすることが可能である。こうして、この画素に対応するデータ及び他の対応画素に対応するデータも、他の画素に対する補正画像を含む画像バッファにコピーされる。従って、4分割のただ1個における画素のひとつの径方向位置を計算することによって、4分割の各々に対するデータを処理することができる。

【0034】計算を最小にするためには、段階290で次の径方向位置 $rs$ に進む前に、対象となる各波長に対する段階240-290を繰り返すべきである。すなわち、色収差のため、画素 $n_x, n_y$ は、異なる波長の画像データ $n_x', n_y'$ を含むいくつかの対応する画素を有していてもよい。レンズが大きな色収差を有するならば、各色に対して新しい画素番号 $n_x', n_y'$ を計算する必要がある。選択された波長に対する新しい値 $Rs$ は、式(2)の係数 $A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda, \text{etc}$ が波長に依存する可能性があるので、計算する必要がある。対象となるのが3波長であり、かつ各波長における歪曲画像データがセンサーの異なる画素内にあるならば、3個の画素の各々からの歪曲データはバッファの单一画素位置 $n_x, n_y$ に移動しなければならない。一旦、図7の段階300において、選択された画素の対象と

する最後の波長に対して全計算を実行すると、段階310で次の画素を選択し、最終の $nx$ の値に届くまで(段階320)、X列の各画素に対して計算が繰り返される。次にY画素値を増分だけ増加し、最終のY及びXの画素データが処理されるまで(段階340, 350)、このY値(段階330)についてのX方向の全画素に対して段階230-310を繰り返す。この流れ図は、最初の増分だけ増加された画素のX値を示しているが、他の画素を選択する方法を使うことが可能であることも理解される。流れ図は、ラスター式で形成された分割からの補正データを有する画素とともに同時に他の分割の各々が構築されることを示している。これは、レンズの回転対称性に起因する。画像センサーの画素が正方形ならば、対応する画素(すなわち、交換されるX値及びY値を有する画素)も同じ径方向位置を有するので、速度を増加させることができる。分割の画素の半分に対して $Rs$ を処理することだけが必要となる。これらの画素は、原点から分割の角への45°の線より上あるいはそれより下の画素である。一旦、ラスター走査における全X画素を計算すると、次のY値は、段階330から段階350で分割画素の全画素を処理するまで計算される。

【0035】データ補正を速やかに実施するため、カメラ内に少なくとも1画像を収容するのに十分大きなバッファを有することが望ましい。補正画像がバッファ内に作られると、補正画像はオリジナルの歪曲画像位置に戻り、もはや必要のないオリジナルデータ上に上書きされる。カメラ内に、トラックを維持してかつ画像の補正時を設定する能力を有することが必要だろう。カメラ内で補正を行うことが望ましいが、他の方法は、式(2)に示した歪曲多項式に沿って画像データをコンピュータあるいはワークステーションにダウンロードすることである。個々の画像は、コンピュータ内で補正されうる。

【0036】好適な方法は、デジタルカメラに応用されるが、従来のカメラに対しても使用可能である。この場合に、歪曲補正に対して式(2)に示した多項式を得るために、従来のカメラを規定するレンズパラメータを測定すること及びレンズ歪曲特性を決めることが必要になる。従来のカメラも、使用されるレンズのタイプ、焦点距離、視野角、 $s, A_\lambda, B_\lambda, C_\lambda, \text{etc}$ のようなレンズ情報をコンピュータに提供できるだろう。多項式情報も、フィルム画像がデジタル化されたときは、カメラでフィルム上に書き込むこと及びスキャナーでフィルムから読み出すことも可能であろう。コンピュータを備えたキオスクでは、カメラあるいはスキャナーに有効に接続され、歪曲画像データ及び上記のレンズ情報を受けとる。レンズ情報を利用するキオスクは、予定理想画像位置に対応し、かつ非歪曲画像を示すこのデータを移動する歪曲画像におけるデータの位置を決める。

【0037】最適倍率を決める2つの詳細な例を以下に示す。第一の例では、レンズは-25%の3次のオーダー

のたる形歪みを有している。図8は、画像中心405、矩形画像フォーマットのエッジ410、及び歪曲画像411を示している。このレンズに対しては、式(1)は次のようになる：

【数6】

$$R = r - 0.1923077r^3 \quad (6)$$

この式では、 $r$ は画像中心405から近軸画像点（すなわち、画像表面で遮られる近軸主光線）までの径方向距離で、 $R$ は画像中心405から画像表面で遮られる正確な近軸主光線までの径方向距離である。この式において、 $A$ 係数は-0.1923077であって長さの二乗の逆数の次元を有するものであって、従って、1平方インチメートルあたり-0.1923077である。オリジナルの矩形（すなわち、被写体の所望の画像）は、大きさが4インチ×6インチであった。従って、図8で示した画像410は、3から2の間のアスペクト比（すなわち、画像の長軸方向が短軸方向より50%長い）を有している。

【0038】同じ視野カバーを保つため、及び画像捕捉で用いるセンサー画素の数を最大にするため（歪曲画像は、できるだけ大きく矩形で規定された受像領域を埋めないからである）、設計されたレンズ焦点距離を歪曲画像の縦軸で分割された（画像領域を規定する）矩形の縦軸高さによって調整することが必要になる。この場合には、画像を規定する矩形の縦軸高さは4インチであり、歪曲画像の縦軸高さは3.692インチである。これは、1.0834倍の倍率を与える。レンズ焦点距離の効果は、全線形次元を調整することである。従って、このレンズの実際の焦点距離が、同じ視野角での画像センサーを覆う対応する理想レンズの焦点距離より8.3%大きい。これが行われた後、歪曲スケールアップ画像413は、図9で示したように、画像データ損失で受像領域を最もよく埋める。さらに、図8では、オリジナルのスケール未調整4×6矩形画像を符号410で示している。符号410の歪曲画像が符号411である。スケール調整した歪曲画像は符号413であり、及び412は同じ倍率でスケールアップし、かつ図9で示した4×6矩形の近軸画像である。今調整された歪曲画像413が矩形の最上部と底部とで受像領域410にちょうど接することがわかる。受像領域410は所定の固定寸法であり、変えることができない。受像領域は、CCDアレイあるいはCMOSアレイのようなデジタル化された光感応性センサーであり、調整済み焦点距離を有するレンズからより多くの画素が得られ、その結果より画像品質になるだろう。

【0039】次の例は、糸巻形歪みと呼ばれる正の歪曲画像に対するものである。この場合には、レンズは25%の歪曲を導入し、従って、歪曲画像を説明する式は以下のようになる：

【数7】

$$R = r + 0.1923077r^3 \quad (7)$$

【0040】図10は、4×6インチ矩形受像領域420

のエッジ及びその歪曲画像430を示している。この場合には、データ損失を最小にし、かつ受像領域を最大限に利用するため、歪曲画像の角が受像領域内に入るようレンズ焦点距離をより小さい値にすることが必要である。画像の角から4×6インチ矩形の歪曲角までの径方向の距離を計算すれば、これは9.014インチ(22.90cm)の対角線になり、一方、4×6インチ(10.16cm×15.24cm)矩形の対角線は7.211インチ(18.32cm)である。従って、レンズの実際の焦点距離は、同じ視野角での画像センサーにフィットする理想レンズの焦点距離より20%小さい。この倍率をレンズ焦点距離に適用すると、図11で示した受像領域を埋める歪曲画像となる。

【0041】図10で示したように、オリジナルの4×6受像領域のエッジが420であり、その歪曲画像が430である。調整された歪曲画像は440であり、調整された近軸画像は450である。図から明らかなように、調整された歪曲画像の角は受像矩形のエッジ420に接触し、画像データが損失しない。これも、受像領域を最大限に活用する。

【0042】式(4)及び式(5)がここで導出される。X軸からの角度が $q$ で、中心からの距離が $r$ である画素をベクトルで示した図12において、画素のX座標及びY座標は以下の式で与えられる：

【数8】

$$\begin{aligned} x &= r \cos(\theta) \\ y &= r \sin(\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

X及びYのそれぞれの画素ピッチ $h_x$ 及び $h_y$ を用いると、X画素数及びY画素数はそれぞれ $n_x$ 及び $n_y$ は以下の式で与えられる：

【数9】

$$\begin{aligned} n_x &= \frac{x}{h_x} = \frac{r \cos(\theta)}{h_x} \\ n_y &= \frac{y}{h_y} = \frac{r \sin(\theta)}{h_y} \end{aligned} \quad (9)$$

【0043】回転対称のため、歪曲画素は、上記と同じ角度 $q$ に位置する。同様に、 $R=(X, Y)$ での歪曲画像の座標は以下の式で与えられる：

【数10】

$$\begin{aligned} n_x' &= \frac{R \cos(\theta)}{h_x} \\ n_y' &= \frac{R \sin(\theta)}{h_y} \end{aligned} \quad (10)$$

画素の角度 $q$ は以下の式で与えられる：

【数11】

$$\tan(\theta) = \frac{y}{x} \quad (11)$$

【0044】正弦及び余弦は以下の式で計算可能であ

る：

【数12】

$$\begin{aligned}\sin(\theta) &= \pm \frac{\tan(\theta)}{\sqrt{1 + \tan^2(\theta)}} \\ \cos(\theta) &= \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(\theta)}}\end{aligned}\quad (12)$$

式(11)における $x$ 及び $y$ は式(9)の画素数 $n_x$ 及び $n_y$ で表すと、正弦及び余弦は以下のように記述される：

【数13】

$$\begin{aligned}\sin(\theta) &= \frac{\pm n_y h_y}{\sqrt{(n_x h_x)^2 + (n_y h_y)^2}} \\ \cos(\theta) &= \frac{\pm n_x h_x}{\sqrt{(n_x h_x)^2 + (n_y h_y)^2}}\end{aligned}\quad (13)$$

あるいは

【数14】

$$\begin{aligned}\sin(\theta) &= \frac{\pm n_y h_y}{r} \\ \cos(\theta) &= \frac{\pm n_x h_x}{r}\end{aligned}\quad (14)$$

正弦及び余弦に対するこれらの結果を、式(10)に代入することによって、次の式を得る：

【数15】

$$\begin{aligned}n_x' &= \pm \frac{R}{h_x} \frac{n_x h_x}{r} = \pm n_x \frac{R}{r} \\ n_y' &= \pm \frac{R}{h_y} \frac{n_y h_y}{r} = \pm n_y \frac{R}{r}\end{aligned}\quad (15)$$

これらが式(4)及び(5)である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 歪曲画像をとり、補正する装置を示す概略図である。

【図2】 歪曲を伴うレンズを設計する際の各段階の流れ図である。

【図3】 完全レンズを、センサーレイをみたす所定視野 (FOV) 内にある主光軸とともに示した概略説明図である。

【図4】 センサーレイの $w$ と $h$ の寸法を示す平面図である。

【図5】 画像領域の4分割における画素の番号付けを示す概略説明図である。

【図6】 歪曲収差及び面方向色収差に対して画像を補正する際の各段階の流れ図である。

【図7】 歪曲収差及び面方向色収差に対して画像を補正する際の各段階の流れ図である。

【図8】 25%歪曲を有するレンズで形成した、矩形画像フォーマット及びその画像のエッジを示す概略説明図である。

【図9】 縮小歪曲画像及び図8で示した4×6矩形の近軸像を示す図であり、共に同じ倍率で描いた概略説明図である。

【図10】 5%歪曲を有するレンズで形成した、矩形画像フォーマット及びその画像のエッジを示す概略説明図である。

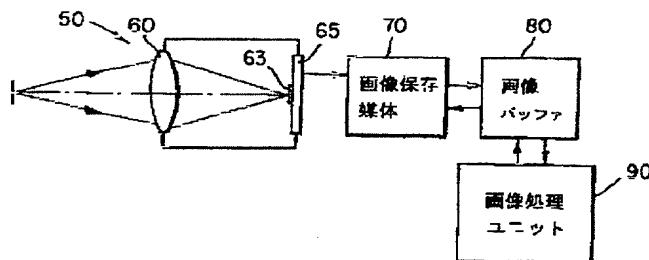
【図11】 縮小歪曲画像及び図10で示した4×6矩形の近軸像を示す同じ倍率で描いた概略説明図である。

【図12】 非歪曲画像データを伴う画素を示す概略説明図である。

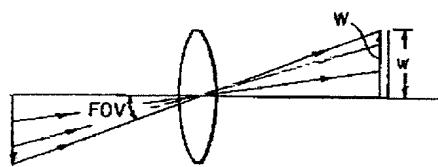
【符号の説明】

- 50 装置
- 60 レンズ
- 63 歪曲画像
- 65 光感応性画像捕捉媒体
- 70 画像保存媒体
- 80 画像バッファ
- 90 画像処理ユニット
- 405 画像中心
- 410 矩形画像
- 411 歪曲画像
- 420 矩形画像
- 430 歪曲画像

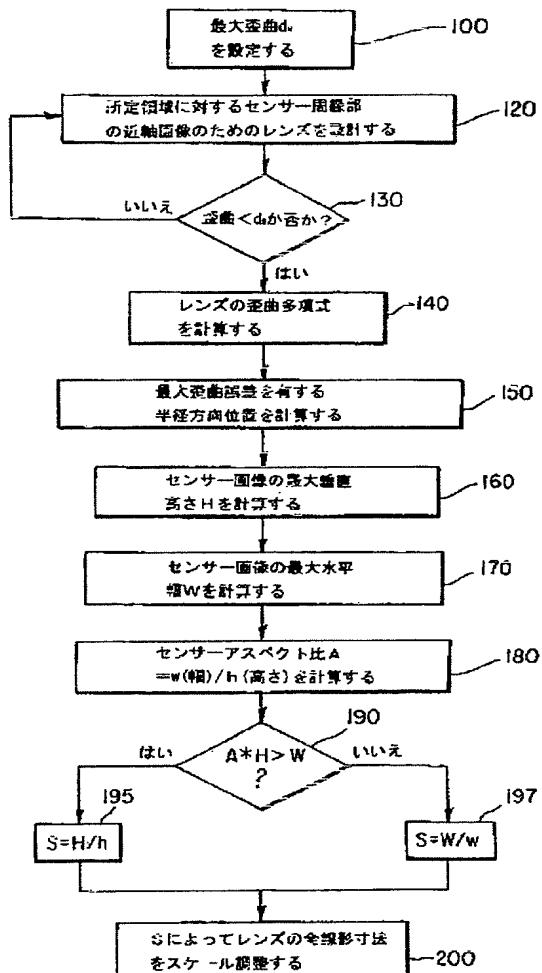
【図1】



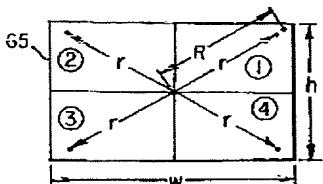
【図3】



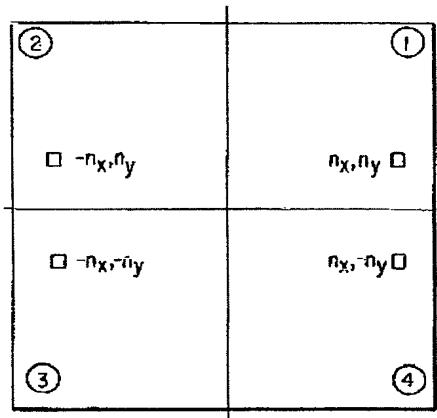
【図2】



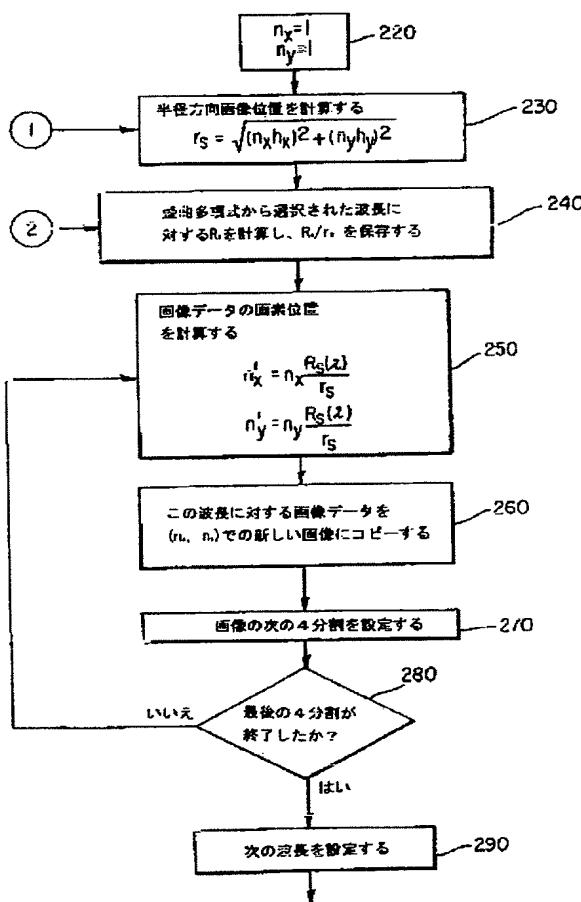
【図4】



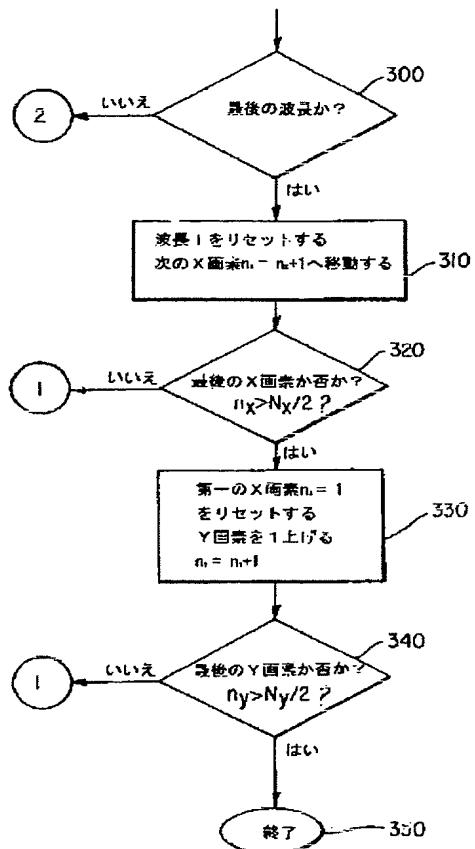
【図5】



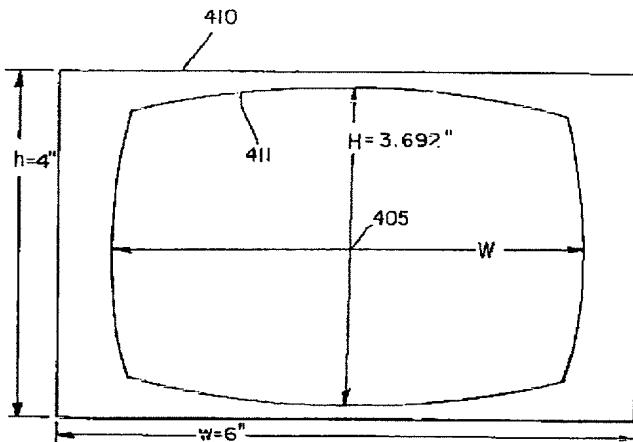
【図6】



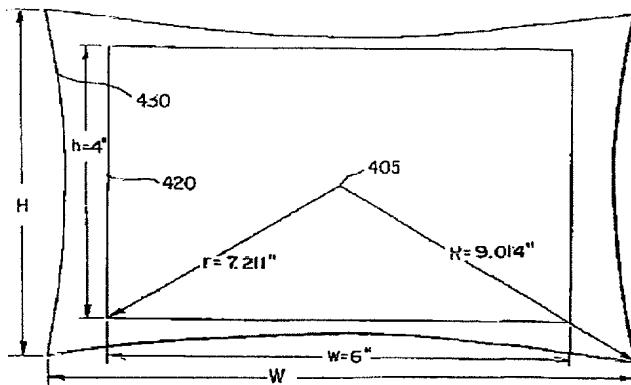
【図7】



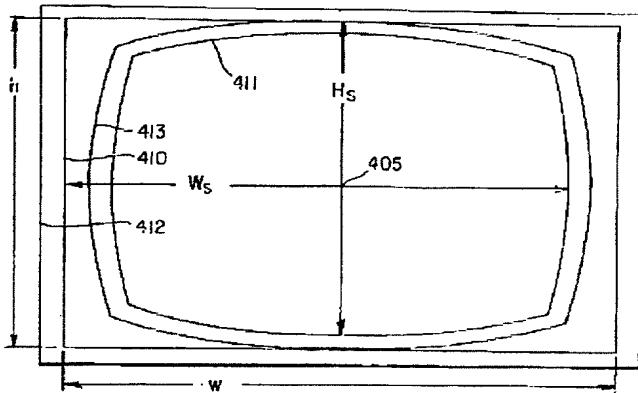
【図8】



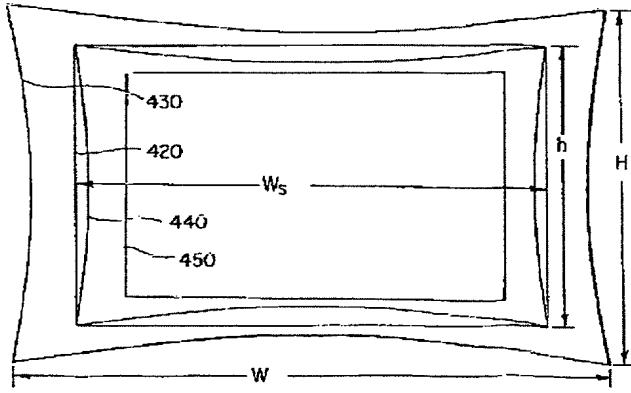
【図10】



【図9】



【図11】



【図12】

